

## 研究課題名：県産材を利用した中大スパンに対応する梁トラスの開発

担当部署：農林技術部 木材利用グループ

担当者名：後藤崇志・中山茂生

予算区分：県単（シーズ蓄積型試験研究課題）

研究期間：平成24年度

### 1. 目的

本県のスギ人工林は成熟し、利用可能な蓄積量は3400万 $m^3$ に達している。これまで、スギ材は木造住宅の柱などとして利用されてきたが、今後は木造化が進んでいる公共的施設や店舗などへの利用が期待されている。しかし、これら施設の中大スパン架構（6～12m）に対応するスギ製材を用いた部材の製造技術は確立されておらず、外材や県外の工場で製造された集成材が利用されている。そこで、本研究では県産スギ一般製材を利用し、中大スパン架構に対応する部材の製造技術を確立するために、梁トラス（具体的にはワーレントラス）を製造して曲げ破壊試験を行った。

### 2. 試験の方法

#### 1) スギ一般材の選定

梁トラスの製造に利用するスギ一般材は、県有林及び県内製材所より調達した。県有林では、37～45年生の立木31本を伐倒し、長さ4.5mの1・2番玉に造材した。そして、スギ丸太は径級に応じて正角、平角及び太角に製材して人工乾燥を行い利用した。県内製材所では、製材・乾燥された長さ6.1mの正角（120×120mm, 38本）と平角（120×180mm, 26本）を対象として含水率計による含水率と動的ヤング係数を測定し（写真－1）、梁トラスの上下弦材として各4本を調達した。

#### 2) 梁トラスの設計と製造

梁トラスは、曲げ性能が高いと報告されていたワーレントラスを設計した。スパンは6m、束の長さは360mm、斜材の角度は40度、束と斜材の断面寸法は120×120mm、上下弦材の断面寸法は120×120mmと120×180mmの2条件として各2体を製造した（写真－2）。上下弦材と斜材あるいは束の接合部は短ほぞとボルトにより接合し、上下弦材は継ぎ手のない通し材である。

#### 3) 曲げ破壊試験

曲げ破壊試験は3等分点4点荷重法で単調増加方式として行った。ワーレントラスの長さ方向片側部分について、ワーレントラスのたわみと各部材のひずみを測定し（写真－3）、各部材に生じた応力度を算出した。なお、全乾法で求めた部材の平均含水率は15.6%であった。

### 3. 結果の概要

#### 1) スギ製材の強度性能

供試したスギ製材の密度、含水率計による含水率及び動的ヤング係数は、県有林産材では466 $kg/m^3$ （標準偏差（以下、SD）65）、25.5%（SD 14.2）、6.42 $kN/mm^2$ （SD 0.77）、製材所の製材では404 $kg/m^3$ （SD 29）、17.7%（SD 4.5）、8.19 $kN/mm^2$ （SD 1.33）であり、一般的な県産スギ材と考えられた。なお、上下弦材に利用した製材の動的ヤング係数は7.63～10.91 $kN/mm^2$ とした。

#### 2) ワーレントラスの製造

ワーレントラスの製造は県産スギ一般材を使用し、上下弦材、斜材及び束などの構成部材とその接合部は所有する木材加工機械を使用して加工可能であった。また、組立作業も2人程で可能なことが確かめられた。

### 3) ワーレントラスの曲げ性能

ワーレントラスのたわみと荷重との関係を示す(図-1)。なお、図-1には既報のハウトラスの結果も示す。たわみが24mmに達した時点(スパンの1/250)では、ワーレントラスとハウトラスの荷重はほぼ等しかった。また、ワーレントラスの各構成部材に生じた応力度はスギ製材の長期許容応力度より小さかったことが確かめられた。しかし、両トラスの最大荷重には大きな差異が認められた。これは、ワーレントラスでは荷重の増加に伴って上下弦材と斜材との接合部に大きな隙間が生じ(写真-4)、荷重に抵抗出来なかったためと考えられた。



写真-1 県内製材所でのスギ一般材の選定

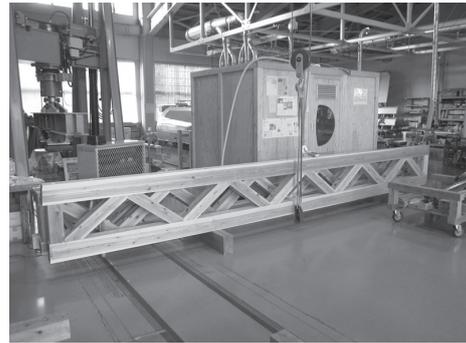


写真-2 ワーレントラス

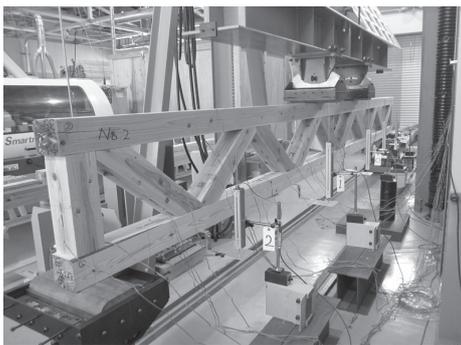


写真-3 曲げ破壊試験



写真-4 部材接合部で生じた破壊

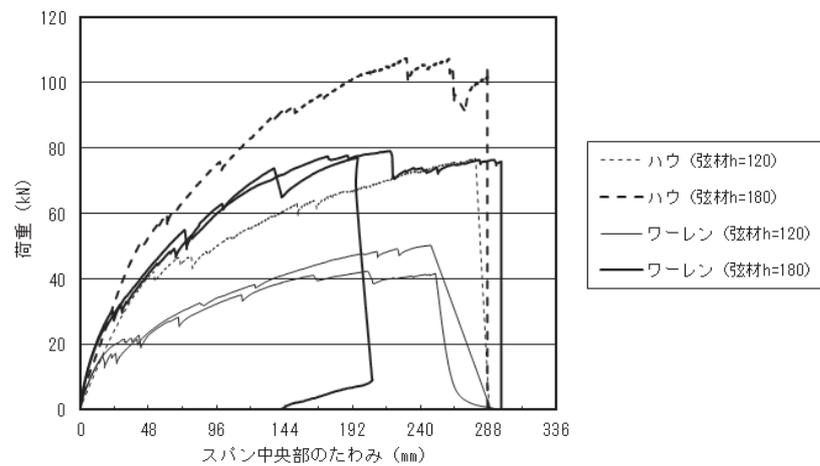


図-1 製造したワーレントラスでの荷重-変形曲線  
注：既報のスパン6mハウトラスの結果も併せて示す。

## 研究課題名：スギ水気耕造林木材質調査

担当部署：農林技術部 木材利用グループ・森林保護育成グループ

担当者名：中山茂生・岩田若奈・山中啓介

予算区分：林業課依頼

研究期間：平成24年度

### 1. 目的

県庁林業課からの依頼に基づき、平成7年～9年のスギ水気耕栽培苗実証事業により植栽され、生育している水気耕造林木について、特に初期成長が良いとされる水気耕栽培苗が山行普通苗と比較して材質面で同程度かどうかを確認するため、調査を行った。なお、林木の材質評価項目には、年輪幅や密度、含水率、材色、繊維長などがあるが、今回は立木のヤング係数を評価項目として用いた。

### 2. 調査の方法

水気耕造林木は、植栽後15年～17年経過しているが、樹幹の大部分を未成熟材が占めていると考えられ、最終的な材質調査に適した林齢にはまだ満たないと判断されるため、伐採は行わず、立木の状態で非破壊的にヤング係数を測定できる応力波伝播速度測定法による調査を実施した。

平成7年～9年にかけて県内の林地に植栽され、これまで継続的に胸高直径や樹高等のデータが取得されてきたスギ水気耕栽培苗実証事業実施地区4箇所のうち、調査対象として適していると判断された出雲市有林（出雲市宇那手町右谷1679-1）において、立木の状態で、スギ造林木の応力波伝播速度を測定してヤング係数を算出した。測定は、市販の応力波速度測定機ファコップ（FAKOPP Enterprise製）を用いて行い、測定位置は立木の山側地際20cm～220cm（2m）間とした。調査は枯死木や折損木、被圧木を除き、測定可能なものは全て測定した。調査本数は、水気耕ポット苗の造林木（挿木57本、実生57本）、山行普通苗の造林木（挿木60本、実生39本）、合計213本であった。

なお、応力波伝播速度からのヤング係数の算出は下式によった。

$$E_s = (V_p)^2 \times \rho / g / 10^6 \times 0.0980665 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

ここで、 $E_s$ ：ヤング係数（kN/mm<sup>2</sup>）

$V_p$ ：応力波伝播速度（m/sec）

$\rho$ ：密度（g/cm<sup>3</sup>）

$g$ ：重力加速度（980cm/sec<sup>2</sup>）

### 3. 結果の概要

立木の状態で密度は実測できないことから、213本とも仮定値として生材密度0.81g/cm<sup>3</sup>を①式に代入してヤング係数を算出した。この密度の根拠は、県内5地域の林分から採取したスギ丸太300本の生材密度の平均値である。立木の状態でファコップにより求めたヤング係数測定結果を表-1、図-1にそれぞれ示した。県内5地域の間伐、枝打ち等の施業を行っていない33～35年生のスギ林分から採取した丸太のヤング係数平均値は7.47kN/mm<sup>2</sup>であり、今回の調査では、この値より30%～39%も低いヤング係数となっている。これは、調査林分の林齢がまだ17年と若いことが原因と考えられる。ヤング係数が安定する成熟期が始まる林齢は、スギでは27年以降であり、50年までヤング係数の向上が見られるとの報告もあることから、水気耕ポット苗及び山行普通苗の造林木ともに、

今後もヤング係数は増加していくと考えられる。

また、各苗の造林木ごとのヤング係数を比較するため Steel-Dwass の多重検定を行ったところ、挿木の山行普通苗と挿木の水気耕ポット苗との間に危険率 1% で有意差が認められ、挿木の山行普通苗と実生の山行普通苗との間にも危険率 5% で有意差が認められた。しかし、挿木の山行普通苗と実生の水気耕ポット苗との間には統計的な有意差はなかった。すなわち、この調査林分における立木のヤング係数は、現在の時点では挿木の山行普通苗が有意に高い傾向であり、実生の水気耕ポット苗はこれと同程度といえる。

なお、「製材の日本農林規格」の機械等級区分構造用製材の規格において、最も低い等級 E50 は曲げヤング係数  $3.9\text{kN/mm}^2$  以上、 $5.9\text{kN/mm}^2$  未満となっており、この下限値  $3.9\text{kN/mm}^2$  に満たないものの本数割合は、水気耕ポット苗の造林木（挿木、実生）、山行普通苗の造林木（挿木、実生）それぞれ、30%、7%、0%、28% であり、挿木の水気耕ポット苗と実生の山行普通苗でまだ下限値を満たさない造林木が多かった。しかし、今後の生育に伴うヤング係数の増加により、標準伐期齢までに現在のヤング係数に対して約 4 割程度の増加が期待できることから、E50 の下限値はほぼ満たし、平均値では水気耕ポット苗、山行普通苗ともに等級 E70 を満たすことができるのではと考えられる。

以上より、出雲市有林のスギ造林木における立木のヤング係数では、現時点では水気耕栽培苗は山行普通苗と比較して同程度からやや低めであったが、初期成長が良いとされることから懸念されたヤング係数の際だった低さは認められず、将来的には構造用製材として使用できる性能にほぼ到達できるものと考えられた。

表-1 出雲市有林におけるスギ立木のヤング係数調査結果

	水気耕ポット苗 (挿木)	水気耕ポット苗 (実生)	山行普通苗 (挿木)	山行普通苗 (実生)
調査本数 (本)	57	57	60	39
平均値	4.59	4.92	5.21	4.71
最大値	6.49	6.49	6.86	6.29
最小値	2.91	3.19	4.17	2.91
標準偏差	0.99	0.66	0.56	0.93
変動係数 (%)	21.6	13.5	10.8	19.7

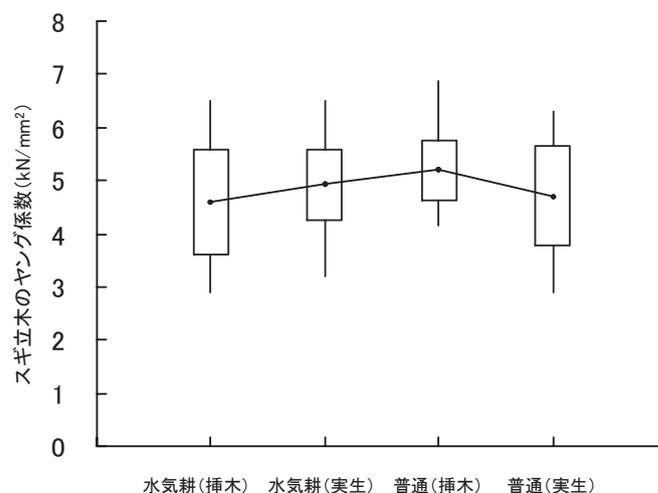


図-1 出雲市有林におけるスギ立木のヤング係数調査結果

注：箱ひげ：平均値±標準偏差、及び最大値、最小値を示す。

## 研究課題名：自然エネルギーを利用した木材乾燥技術の開発

担 当 部 署：農林技術部 木材利用グループ

担 当 者 名：石橋正樹・中山茂生

予 算 区 分：県単

研 究 期 間：平成 24 ～ 26 年度

### 1. 目 的

近年、地球温暖化問題や原油価格の高騰など各方面から、化石燃料消費の抑制が求められ、バイオマスや太陽熱、風力や地熱など自然エネルギーへの転換による省エネルギー化への期待が高まっている。現在において、その燃料の大部分を重油や灯油に依存している木材乾燥分野においてもそれは例外ではない。

近年普及しつつある構造用製材の材面割れ抑制のための高温セット処理技術に太陽熱を組み合わせ、また同時にヒートポンプ技術を活用した木材乾燥装置を開発することにより、化石燃料消費量の低減をはかる。

しかし一方で太陽熱集熱において、市販の装置を用いては高価なものになってしまう。そこで、安価な空気式集熱装置を製作し、その集熱性能を確認した。

### 2. 試験の方法

#### 1) 太陽熱利用の有用性の検討

太陽熱を利用する場合、日射量が最も大きな気象因子となる。そこで、アメダスデータと気象庁から公表されている日射量データベース (METPV-11) を用いて気象条件から太陽熱利用の有用性を検討した。飯南町内の気温と水平面全天日射量の年間サイクルを図-1に示す。天然乾燥に要する期間は天候や季節に大きく左右されるため、とくに月平均気温が10℃以下になる1, 2, 3月及び12月という長い間安定した木材乾燥が期待できない。

しかし、日射量と気温のピークのずれにより、日射量は2月頃から急に増加する傾向があるため、太陽熱を直接利用する木材乾燥には有効であると思われる。

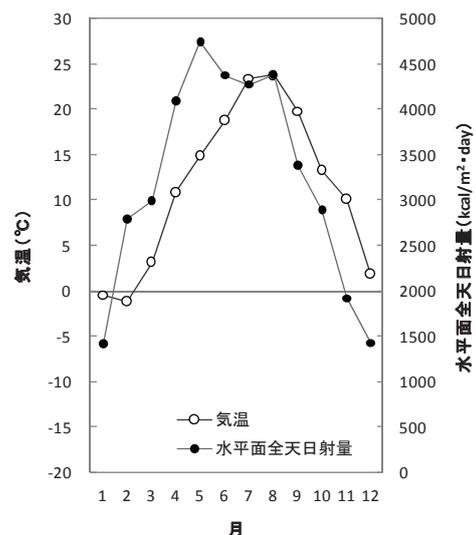


図-1 飯南町内の気温と水平面全天日射量

#### 2) 太陽熱集熱装置の製作

平板型集熱装置の一般的な構成材料としては、透過体、集熱板 (太陽光線をエネルギーに交換)、断熱材 (熱損失防止)、ケーシング (外力から保持する外箱) から成る。今回の空気式集熱装置は、安価でなおかつ限られた技術と道具でも製作できるよう、ケーシング材料には木材を使用した (図-2)。

集熱装置の大きさは、横1m、高さ2m、厚さ16cmで、その有効集熱面積は2m<sup>2</sup>である。構造は集熱板によって仕切られた2つの空気層から成る。一端にファン (風量: 1.05m<sup>3</sup>/min) を付けることにより、全ての層を通して空気が流れることにより熱交換がなされる。透過体を使用する材料としてガラスとプラスチックが考えられるが、今回は作業性と価格を考慮して波形プラスチック (ポリカーボネイトフィルム) を使用した。これを1ユニットとして、当センターで自作した黑色アルミの多孔板 (φ1.5mm, 5800個/一枚) を用いた集熱板、市販の集熱板 (solarwall: (株)ロゴスシステム製) をそれぞれ用いたもので2ユニット製作した。また2ユニットを直列に配置し、下側集熱装置の下層と

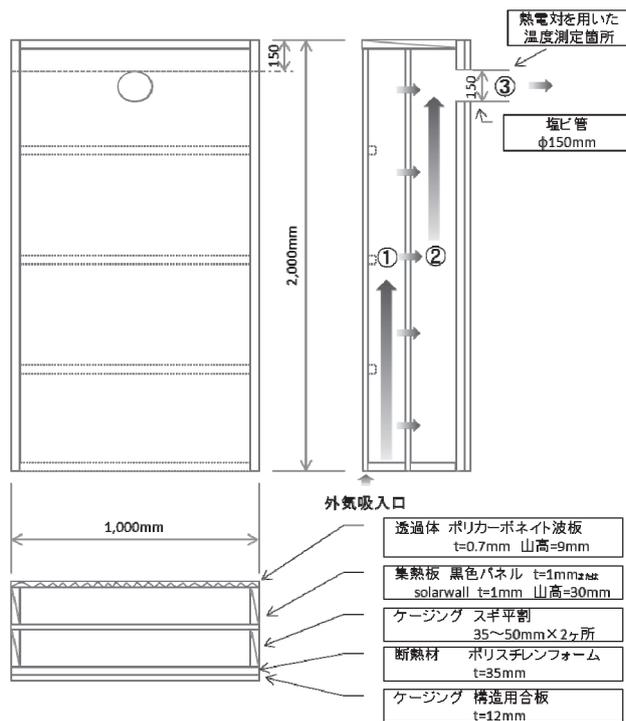


図-2 平板型集熱装置の見取り図

上側集熱装置の上層とを塩ビ管 4 本で連結した。なお、装置は一年のうちで最も寒い時期に太陽光線が垂直に当たるように、南に向け地面と 60° の角度をつけて設置した。集熱装置内の温度を把握するため、K 型熱電対を用いて上層、下層、出口部を含む計 6 点と、外界条件である外気温度を 5 分間隔で測定を行った。設置状況を写真-1 に示す。



写真-1 集熱装置の設置状況

### 3. 結果の概要

図-3 に快晴の日の温度の上がり方を示す。おおよそ 7 時前後から上がりはじめ、12 時前後で最大となった。そして 17 時あたりに気温と同等に下がった。また吸気口から下側集熱装置(上層→下層→出口)と温度上昇が見られ、一旦上側集熱装置の上層で下降したが、再び(上層→下層→出口)の順に温度の上昇が見られた。

図-4 に装置内外の温度差において最もピークとなる正午時点での季節による温度推移を示す。天候状態によりかなりバラツキがみられたが、平均で外気温より 31.1°C 高かった。また 1 日だけ 100°C 以上を記録した(10 月 25 日, 外気温 19.7°C)。本集熱装置を木材乾燥に適用するためには、冬期や夜間、日射量の少ない時間帯において、昇温あるいは温度維持対策が課題と考えられた。

なお、今回の結果を反映して、当センター敷地内において太陽熱集熱装置を利用した木材乾燥装置を製作した。また本集熱装置は木材乾燥装置だけでなく、ハウスなどへの農業利用、あるいは堆肥やチップ乾燥など広く応用できる可能性が示唆された。

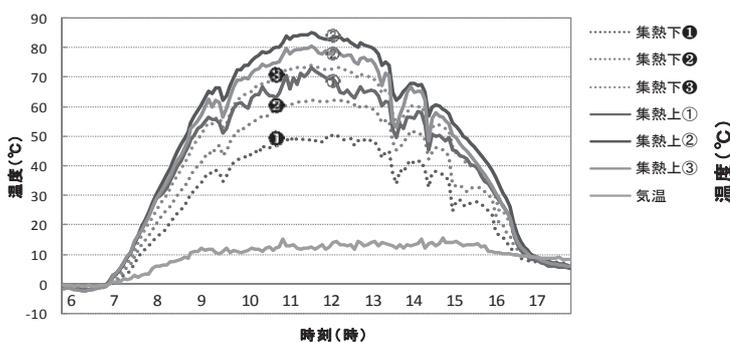


図-3 日中の温度分布 (H24.11.16 快晴)

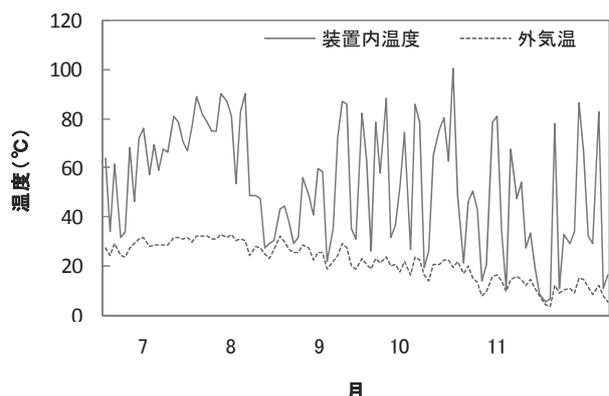


図-4 季節による装置内外の温度推移 (正午時点)